

世界エネルギー会議 ヒューストン大会

—— グローバル・エネルギー講演 ——

環境とエネルギー、日本の選択

Energy & the Environment : Japan's Choice

三菱マテリアル株式会社
取締役社長 秋元 勇巳

—— グローバル・エネルギー講演 ——

環境とエネルギー、日本の選択

Energy & the Environment : Japan's Choice

秋 元 勇 巳*

Since the Industrial Revolution, mankind's consumption of energy has increased as our civilization has developed and our standard of living has improved. This mass consumption of energy has naturally brought about a number of environmental problems ; the biggest of which may be global warming caused by emission of carbon dioxide and other greenhouse gases. Unlike other forms of pollution restricted to certain regions or countries, this phenomenon affects the stability of the global carbon cycle, and will require a synthetic solution based on a very long-term prospect. In terms of both time and space, humanity has never before faced a challenge of such global proportions.

At the Kyoto conference on global warming which was held in last December, advanced nations agreed to cut worldwide emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases to 5.2% below the levels of 1990 by the year 2010. In case of Japan, pledged number was 6% below the 1990 levels.

There is, as yet, no established scientific prediction for the long-term effects of carbon dioxide gas accumulation, but as any effects may be hard to erase after the fact, conference participants have decided to adopt so called policy of "no regrets". Nevertheless, the agreement reached in Kyoto is merely a target for advanced countries to aim at. It's really little more than a first step. Control of greenhouse gas emissions must be implemented in a more global and long-term perspective—eventually including developing countries.

Japan's efforts to reduce CO₂ emissions have focused on two main areas : supply and demand. On the supply side, we are trying to increase energy efficiency and cleanness. Nuclear power will be expanded to 66.0-70.5GW of electricity generation capacity by the year 2010, that corresponds to introducing about twenty new nuclear power plants.

On the demand side, we are striving to keep our energy consumption to current levels by revising energy conservation laws and encouraging private corporations and the general public to take voluntary action. Our plan is to reduce CO₂ emissions originated from energy sector to 7% below 1995 levels by the year 2010. By systematic planting and forest growing to absorb carbon dioxide and adopting a flexible approach in conjunction with other advanced nations (including mechanisms of "green development", trade of CO₂ emission right), we hope to achieve the 6% reduction stipulated in the Kyoto accord. Our fundamental policy is based on three E's : maintain a steady 2% annual growth in the Economy, protect the Environment and ensure a stable supply of Energy.

A study of changes in the energy supply structures of advanced nations since 1973 reveals that increasing the efficiency and shifting to the cleaner energy source were the main factors in reducing CO₂ emissions. Advanced nations, in other words, have been successful for conserving more energy and using cleaner sources of energy in particular the nuclear power. Japan's current policies correspond closely with these facts.

* Dr. Yumi AKIMOTO : 三菱マテリアル(株) 取締役社長 President and CEO, Mitsubishi Materials Corporation

1. はじめに

産業革命以来、人類はエネルギーの消費量を増やしながら、文明を進歩させ、生活レベルの向上を果たしてきた。エネルギーの大量消費は、当然ながら環境上の問題を引き起こす。最初に直面した環境問題は、粉塵、亜硫酸ガス、酸化窒素等の公害であり、地域的・局所的なものであった。公害問題は急激な工業化が進行しつつある一部の途上国では緊急に解決を要する、まさに現在の問題であるが、先進国と呼ばれる国の多くはこの公害問題をおおむね解決しつつあり、人の健康を著しく損ねるような環境からは開放されつつある。

現在、最大の問題となっている環境問題は、二酸化炭素等の温室効果ガスによる地球温暖化であるが、公害問題と異なり、特定の地域・国だけの問題ではなく地球全体に影響が及ぶものであり、当然ながらひとつの国あるいは地域の努力によって解決し得るものではない。また、放出された二酸化炭素ガスは大気中に蓄積され続けていくため、きわめて長い期間を見通して対策を講じる必要がある。このような、空間的にも時間的にも、文字どおり地球規模である環境問題は人類が初めて経験するものであり、公害問題とは比較にならない困難な問題といえる。

二酸化炭素ガスの放出は化石燃料を使用する以上避けられないが、単にエネルギーの抑制により二酸化炭素の放出を抑制しようという短絡的な考えかたでは、この問題に対する解決策を得ることはできないであろう。途上国のエネルギー消費量増大とリンクした経済発展の欲求はきわめて強い上、人口の増加を考慮すると、途上国でのエネルギー消費は今後大幅な増加を示すことが確実である。先進諸国で進行している情報化においても、オフィスや家庭での電力消費が増加しているし、環境保全のための廃棄物の処理やリサイクルにもエネルギーが必要である。省エネルギー化を促進するとしても、エネルギー需要は全体として今後も漸増するものと考えるのが現実的である。生活のレベルを落としてでもエネルギーを抑制すべきだという意見もあるが、ライフスタイルの選択は個人の問題であり、人々の支持を得られるとは思

えない。生活のレベルを維持した上で、エネルギー消費を減らし、さらに二酸化炭素ガスの放出を削減する方策を探さなければならない。

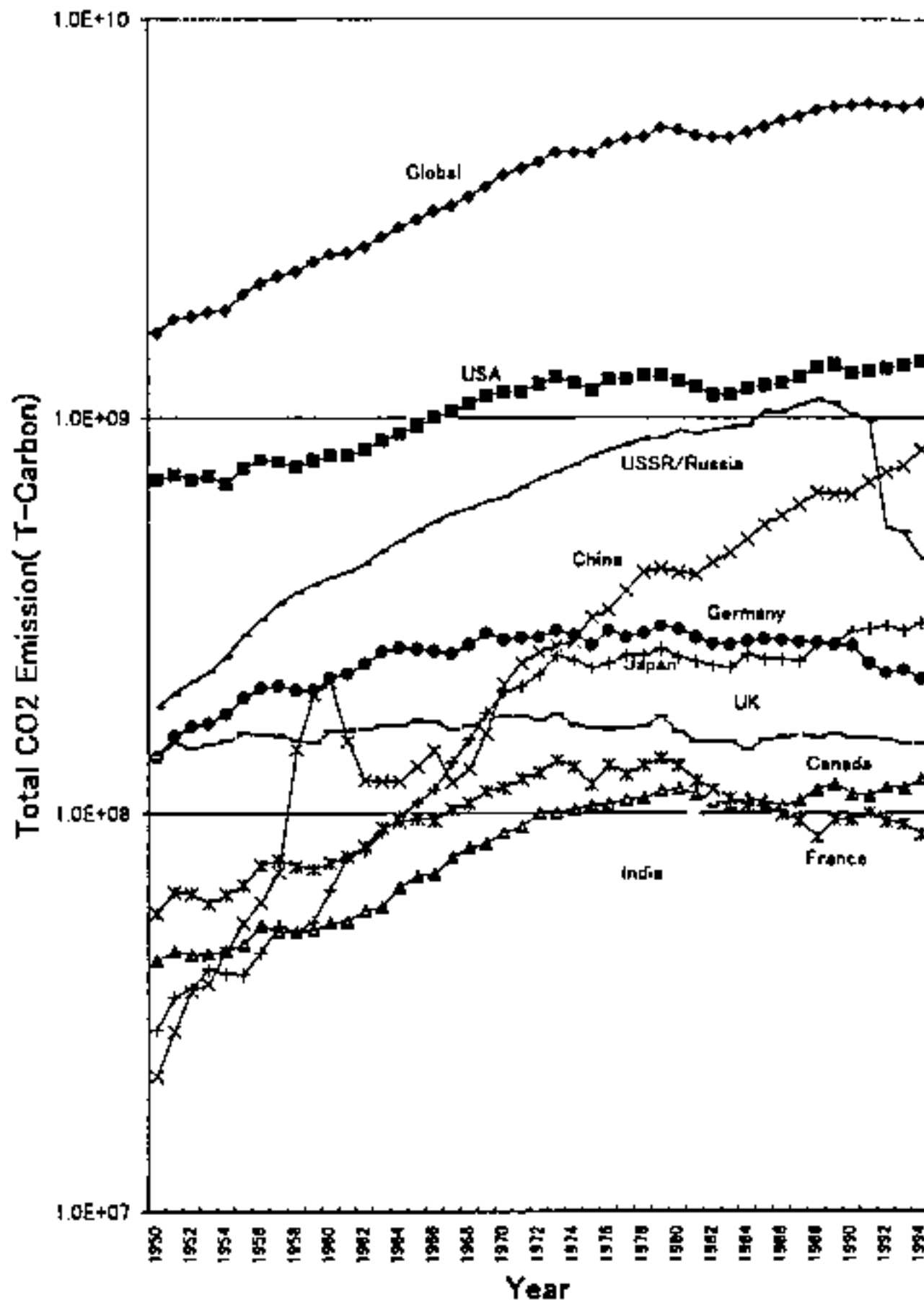
OECD 諸国は、1973年の石油危機以降ドラステックにそのエネルギー供給構造を変えてきた。1973年から1993年までの20年間で、OECD 諸国全体で人口が18%、GDP が62%増えたが、この間のCO₂放出量の増加は8%に止まっている。GDP 当たりのCO₂放出量をとると20年間で33%（年率2.0%）減少させたことになる。この数字は、十分とはいえないにしても、決して悪い数字ではない。本稿は、主にOECD 諸国の過去のエネルギー供給構造を概観し、来世紀の環境とエネルギーについて有用な教訓を見出そうとするものである。

2. 各国のエネルギー供給構造の変遷

(1) エネルギー消費と二酸化炭素放出

各国の一次エネルギー源の構成およびその時系列的変化は、それぞれの国の事情によりさまざまである。たとえば、ヨーロッパ諸国はもともと石炭が主要なエネルギー源であったが、60年代は石油の消費が急速に増大し、石油危機以降は原子力、天然ガス等のエネルギー源が伸び多様化している。北米ではかなり早くから石油のシェアが高かったが、50・60年代を通してその比率がさらに高まり、石油危機以降は少しずつ天然ガスや石炭に代替している。カナダはさらに水力発電のシェアが高い。日本は60年代に石油の消費量を急増させ高度成長を果たした。石油危機後、原子力、天然ガス、石炭の割合を増しつつあるが、依然として石油への依存度が高い。

先進諸国は共通して、50年代から石油危機に至るまでの期間一貫して指数関数的に石油の消費量を増やしていたが、石油危機以降その伸びが止まり、国によっては減少に転じている。一方、中国、インドは1950年から一貫してエネルギー消費を増大させており、しかもその大部分を石炭によってまかなっている。石油危機以降、先進諸国がCO₂放出量の伸びを抑えているのに対し、中国、インドは石油危機以降も変わらずCO₂放出量を伸ばし続けている。図-1は、1950年からの各国の

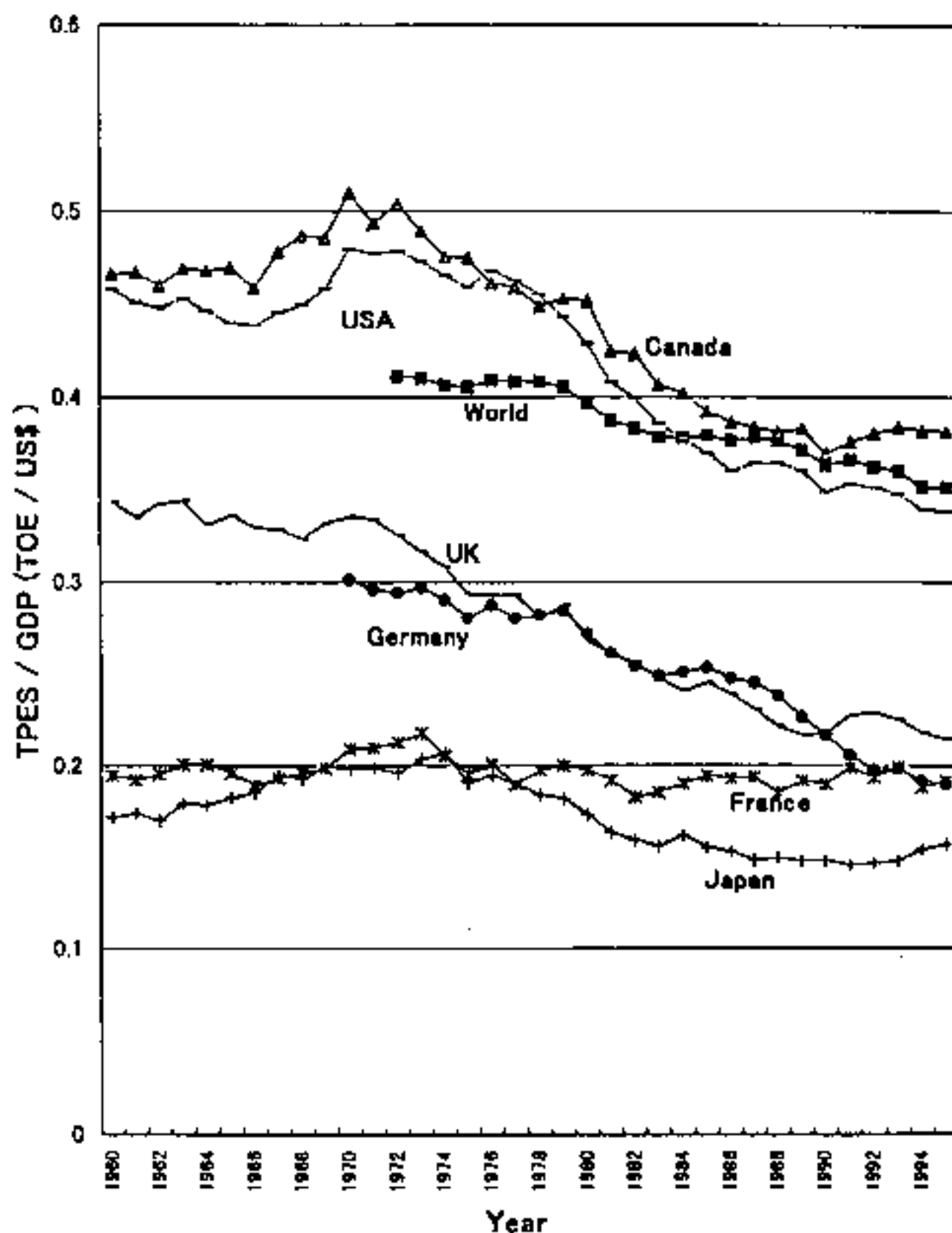
図—1 各国のCO₂放出量の比較 (ORNL-CDIAC-NDP-030/R7より)Fig.—1 Total CO₂ Emission (from ORNL-CDIAC-NDP-030/R7)

CO₂放出量をまとめて示したものである。1994年時点で、中国はすでに世界第2位のCO₂放出国であり、この増加率で推移するものとする、米国を抜いて世界第1位となるのもそれほど遠くはない。インドは1950年以降一貫して年率約6%の割合でCO₂放出量を伸ばしており、1994年時点で英、仏、独、カナダを抜き、日本に次ぐ放出量を示している。地球温暖化問題は先進国だけの問題ではなく、むしろ人口および人口の増加率が高い発展途上国のエネルギー増大への対応がより

深刻である。

12) エネルギー使用の効率とクリーンさ

持続可能な成長を可能とするためには、エネルギー使用の効率とクリーンさの向上を図らねばならない。エネルギー使用の効率はエネルギー原単位 (GDP 当たりの一次エネルギー供給量) で、またクリーンさはCO₂放出率 (一次エネルギー供給量当たりのCO₂放出量) でそれぞれ表すことができよう。図—2に示すように、先進諸国は、石油危機以降エネルギー効率を改善してきてい



図—2 エネルギー原単位：GDP当たりの一次エネルギー供給量

Fig.—2 TPES/GDP

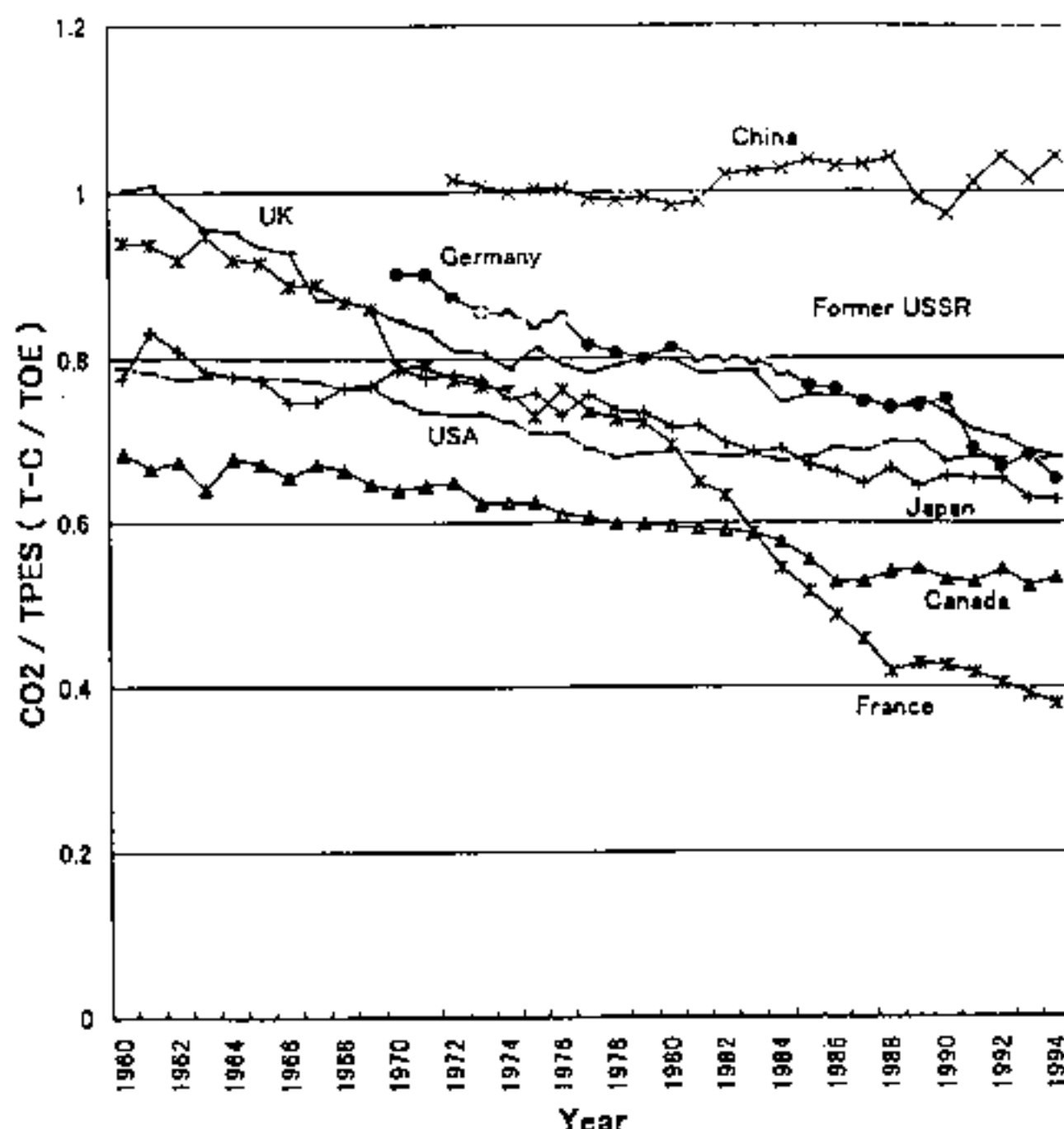
る。先進国の中でも、日本およびフランスのエネルギー効率が際立って高いが、エネルギー原単位は下げ止まっており、限界に近づいている様子が伺える。図には示していないが、途上国は一般にエネルギー効率が低く、先進諸国からの技術援助等による改善の余地が大きい。

図—3 は、1960年以降の、各国の CO₂ 放出率の変化を示したものである。先進諸国は石炭から石油へのエネルギー源の転換、さらに石油危機後の天然ガス、原子力への転換により CO₂ 放出率を低減させている。特に、原子力発電のシェアを最大限に拡大したフランスの低減が目立っている。カナダの CO₂ 放出率がもともと低いのは、

水力発電のシェアが高いことによる。一方、中国は一次エネルギー供給の75%を石炭でまかなっており、そのため CO₂ 放出率は1970年以降1994年に至るまで改善されていない。

(3) 原子力エネルギーの果たした役割

石油危機後、先進各国は省エネルギー化を図るとともに原子力などの代替エネルギーを積極的に導入したが、上記のように、その結果として CO₂ 放出率は大幅に低減化された。たとえば、フランスは一次エネルギーに占める原子力のシェアを2.2%から39.7%に拡大して CO₂ 放出率（炭素換算トン／石油換算トン）を0.77から0.38に半減させたし、日本は原子力のシェアを0.8%から15.3%



図—3 CO₂放出率：一次エネルギー供給量当たりのCO₂放出量

(“ORNL-CDIAC-NDP-030/R7” および “Energy Balances of OECD Countries 1994-1995” より作成)

Fig. —3 CO₂ Emission Per Energy Supply

(from “ORNL-CDIAC-NDP-030/R7”, and “Energy Balances of OECD Countries 1994-1995”)

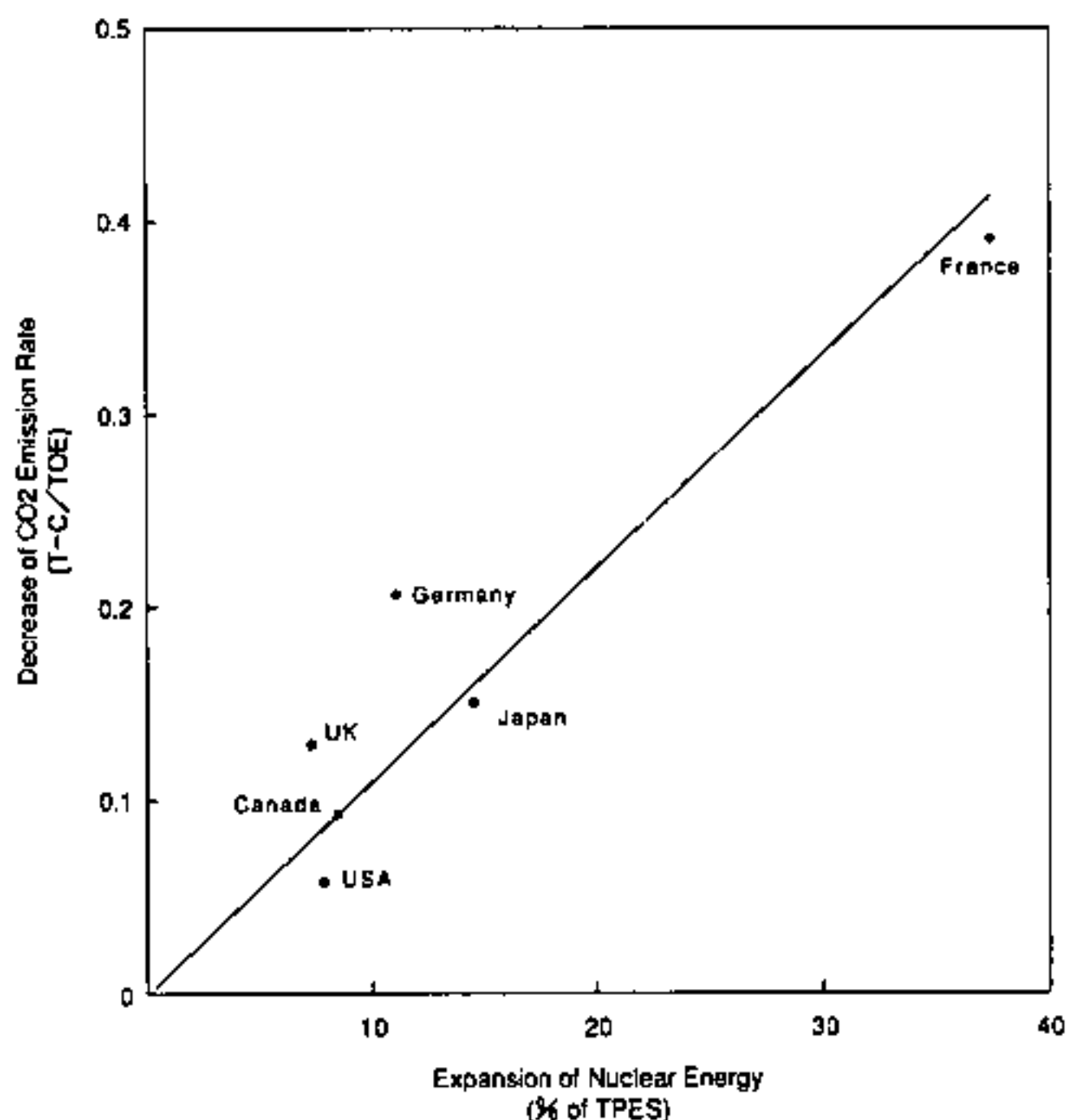
に拡大してCO₂放出率を19%に低減させた。図—4に、先進各国における、石油危機後のCO₂放出率の低減量と、一次エネルギー源に占める原子力のシェアの拡大量との関係を示す。各国のエネルギー構成や石油危機後の対応は、上記のようにさまざまであるにもかかわらず、原子力のシェアの拡大とCO₂放出率の低減はおおむね比例関係にあることがわかる。このことから、石油危機後における先進諸国のCO₂放出率の改善に果たした原子力の役割は相当大きなものであったことが結論される。

3. 日本のCO₂排出抑制対策

昨年12月に日本の京都で開かれた第3回気候変動枠組条約締約国会議(COP3)では、二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量を先進国全体で2010

年までに1990年水準から5.2%削減すること、日本は同じく6%削減することが定められた。長期的な温室効果ガスの蓄積の地球環境への影響について、科学的にそして確実性をもって予見されているわけではないが、手おくれになっては取り返しがつかないとの理由で「後悔しないための政策」が採用されたわけである。京都会議で決められたのは先進国に対する当面の目標であり、最初の一歩を踏み出したにすぎない。発展途上国を含めたよりグローバルな、そしてより長期的な観点からの温室効果ガス放出の管理が行われなければならない。

日本のCO₂排出抑制対策は、エネルギー供給面と需要面の双方からの対策からなる。供給面では、非化石エネルギーの最大限の導入によるエネルギーのクリーン化を目指している。原子力発電



図—4 石油危機後の原子力の拡大とCO₂放出率の減少 (1973-1995)

Fig. —4 Expansion of Nuclear Energy vs Decrease of CO₂ Emission Rate in 1973-1995

設備容量は、2010年までに6,600万～7,050万 kW とする計画であり、これは約20基の原子力発電所の増設に相当する。また、新エネルギーは現在の約3倍にあたる1,910万 kl (石油換算) まで引き上げる。需要面では、企業および国民の自主的な努力に加え、省エネルギー法の改正等の法的措置も行い、あらゆる省エネルギー対策を積み上げることで、エネルギー消費量を現在のレベルに抑え込むことを目指している。需要面、供給面の対策を合せ、2010年までにエネルギー起源の CO₂ の排出量を1995年比で7%削減する計画である。さらに、植林等の吸収源対策や、柔軟性メカニズム (排出権取引引き、先進国間共同実施、クリーン・デベロップメント・メカニズム) 等の対策を組み合わせ、京都議定書の6%削減の目標を達成する。これらの対策により、年率2%程度の経済成長を維持しつつ、環境の保全、エネルギー安定供

給と合わせて、いわゆる「3つのE」を同時に達成していくというのが、基本方針である。

先に、石油危機後の先進諸国におけるエネルギー供給構造の変化を調べたが、CO₂ 放出量の抑制に繋がる因子は、エネルギー使用の効率化、すなわち省エネルギーと、エネルギー源のクリーン化であり、後者には原子力エネルギーの拡大が支配的であることがわかった。日本が探ろうとしている対策は、この知見と符合している。

太陽光発電等の新エネルギーは一般にエネルギー密度が低く、設備に投入するエネルギーを考慮するとエネルギー収支はあまり高くない。しかも天候に左右される等利用効率も低い。エネルギーを効率的に濃縮・貯蔵する技術が開発されない限り、少なくとも短中期的には、新エネルギーは基幹エネルギー源とはなり得ないので、現時点でエネルギー供給と環境 (CO₂ 放出削減) を両立

し得るのは原子力エネルギーのみであることが明らかである。原子力発電所の増設については、国民の合意を取り付けつつ、立地を確保していくという困難を克服することが要求されるが、日本のCO₂削減目標の達成は、原子力の拡大が順調に進むか否かにかかっているといえる。

4. 来世紀に向けて

ここまで、エネルギー供給源を地球環境、特にCO₂放出量の観点から議論してきた。しかしエネルギー源についてのもうひとつの重要な要件—供給の安定性、すなわちエネルギーセキュリティ—を忘れてはならない。産業革命以来のエネルギー源として支配的な地位を独占してきた化石エネルギーは、決して永続的な供給を保証するものではなく、むしろ長い人類の歴史の時間スケールで見ると一過的なエネルギー源である。化石燃料の究極埋蔵量の予想には楽観論と悲観論が常にあり、石油についていえば2倍程度の見積もりの差があるが、遅かれ早かれ、いずれ枯渇する運命にあることは論をまたない。量的な限界が来る時期は、推定埋蔵量の違いよりも、むしろ需要の伸び率に依存しており、楽観論と悲観論による差はせいぜい20～30年の違いにすぎない。可採年数は現在の需要を将来にまで外挿して算出しているが、アジアを中心として高い石油需要の伸びが予想されており、大幅に短縮される可能性がある。特に中国は石炭依存からの脱却を急いでおり、石油需要を押し上げる大きな要因となる可能性がある。

エネルギー供給を議論する際、もうひとつ忘れてならないのは、エネルギーの利用形態である。今世紀半ばから後半にかけて、石油が石炭を代替していった。これは石炭の資源が枯渇したわけではなく、エネルギー利用のパラダイム・シフトが起こったことによる。産業革命以降、石炭のエネルギーに基づく製造業が時代を代表する産業で

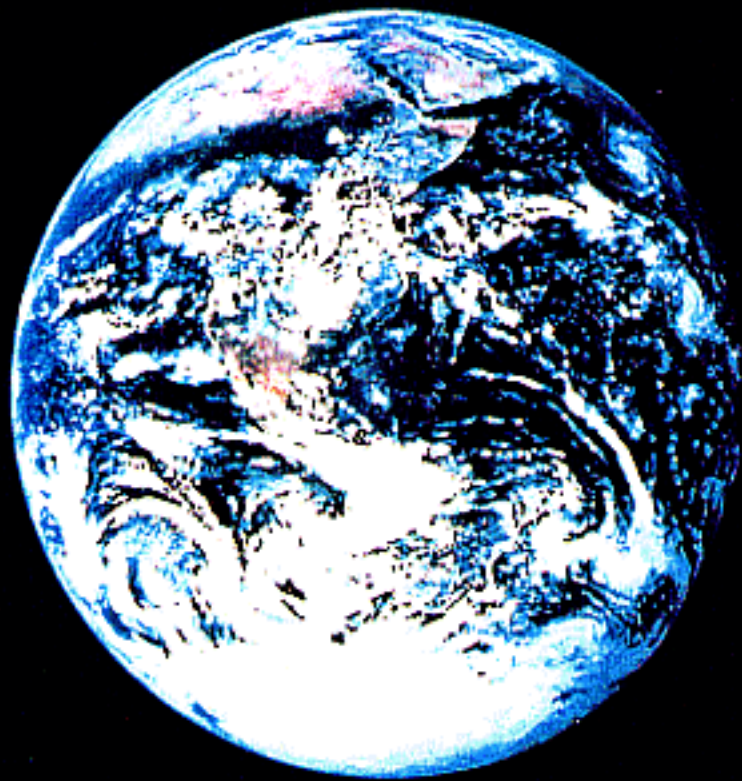
あったが、やがて石油エネルギーに基づく自動車や航空機産業が取って代わった。今や、電気エネルギーに基づく情報産業が時代をリードしている。この傾向は来世紀に入ってもますます顕著となるであろう。原子力は、電気エネルギーを生産することにのみ用いられており、原子力発電への依存を高めてゆくことは、時代の流れの必然であろう。石油は、高分子化学産業の原料として貴重なものであり、ただ単に燃してエネルギー源として使うのは貴重な資源の無駄費いである。石油と違い、ウランはエネルギーを取り出す以外、これといった使い道がないのである。エネルギー源として優先的にウランを使い、石油をノーブルユースに廻すのが合理的な資源の利用方法であろう。

原子力発電においても、ウランを濃縮して軽水炉で1度だけ燃し、あとは使用済み燃料として処分してしまうのであれば、掘り出した天然のウランの0.6%程度を利用するのにすぎず、化石燃料と同等の資源量しか期待できない。しかし、原子炉内で生成するプルトニウムを抽出し、燃料としてリサイクルすると、ウランを有効に利用できるようになり、資源量は一気に3桁も大きくなる。現在、原子炉の主流を占めている軽水炉は、ウラン資源の利用の観点からは不十分なものであり、U-238を効率的にプルトニウムに変換し、燃すことのできる高速炉システムの導入により、はじめて効率的なウラン資源の利用ができる。

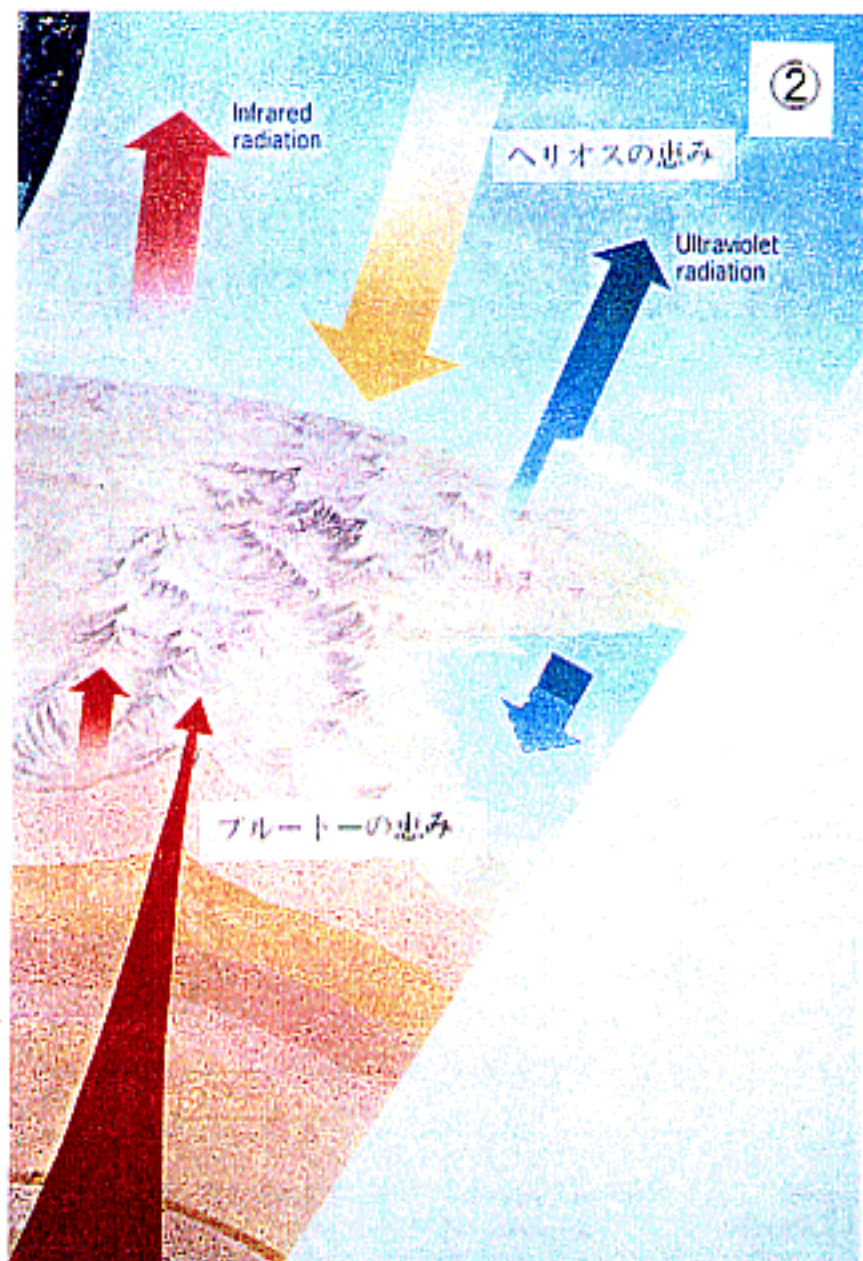
人類が来世紀にも持続的な発展を続けるためには、資源のリサイクルとエネルギーの効率的な利用を柱とする「循環型」社会の確立を図ることがきわめて重要である。原子力もその例外ではあり得ない。21世紀に向け、日本は原子力を柱としてエネルギー資源の多様化を図り、環境と調和したエネルギーの生産・消費システムを構築して、文明の持続的な発展を確かなものとする所存である。

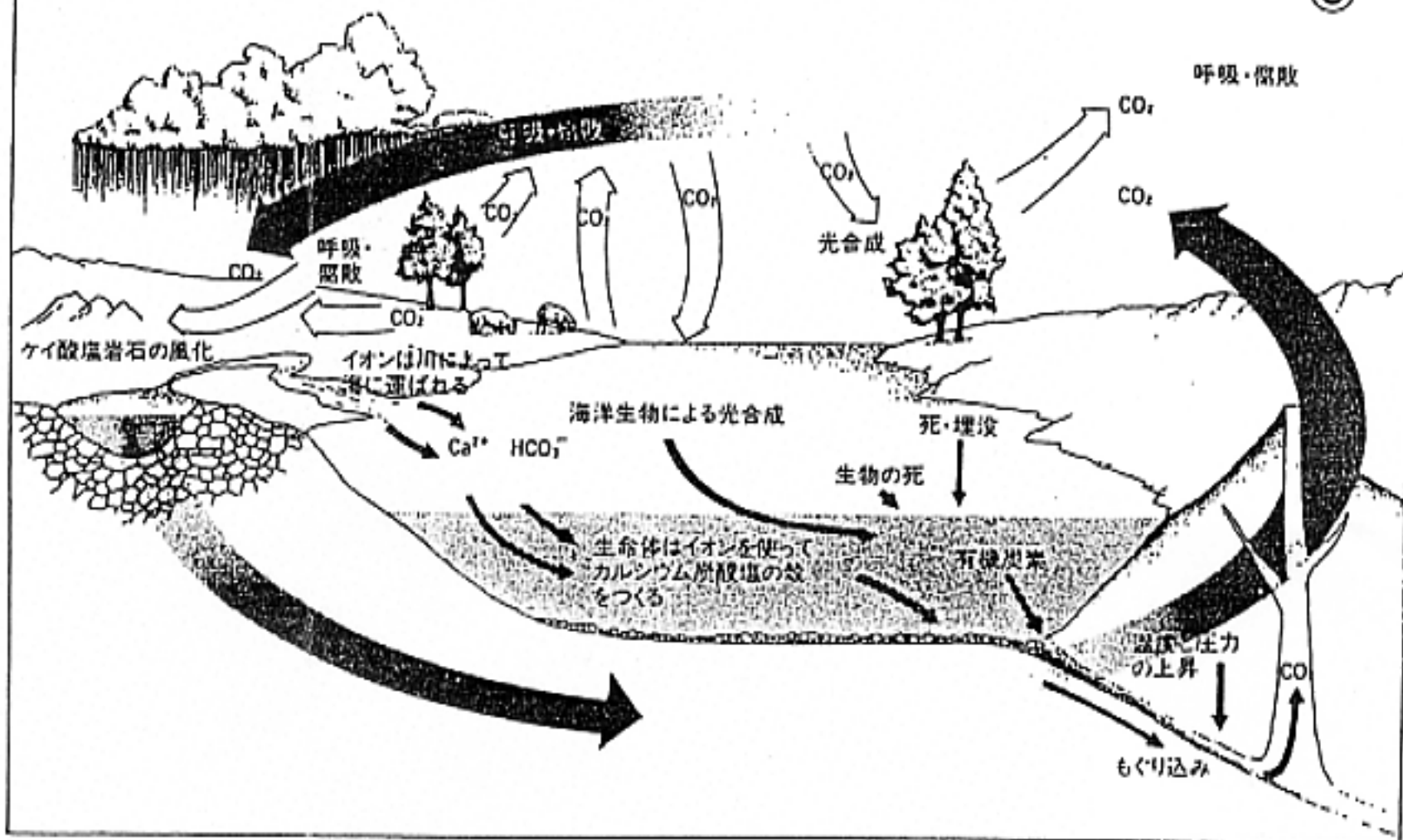
秋元委員プレゼンテーション
OHP資料

①

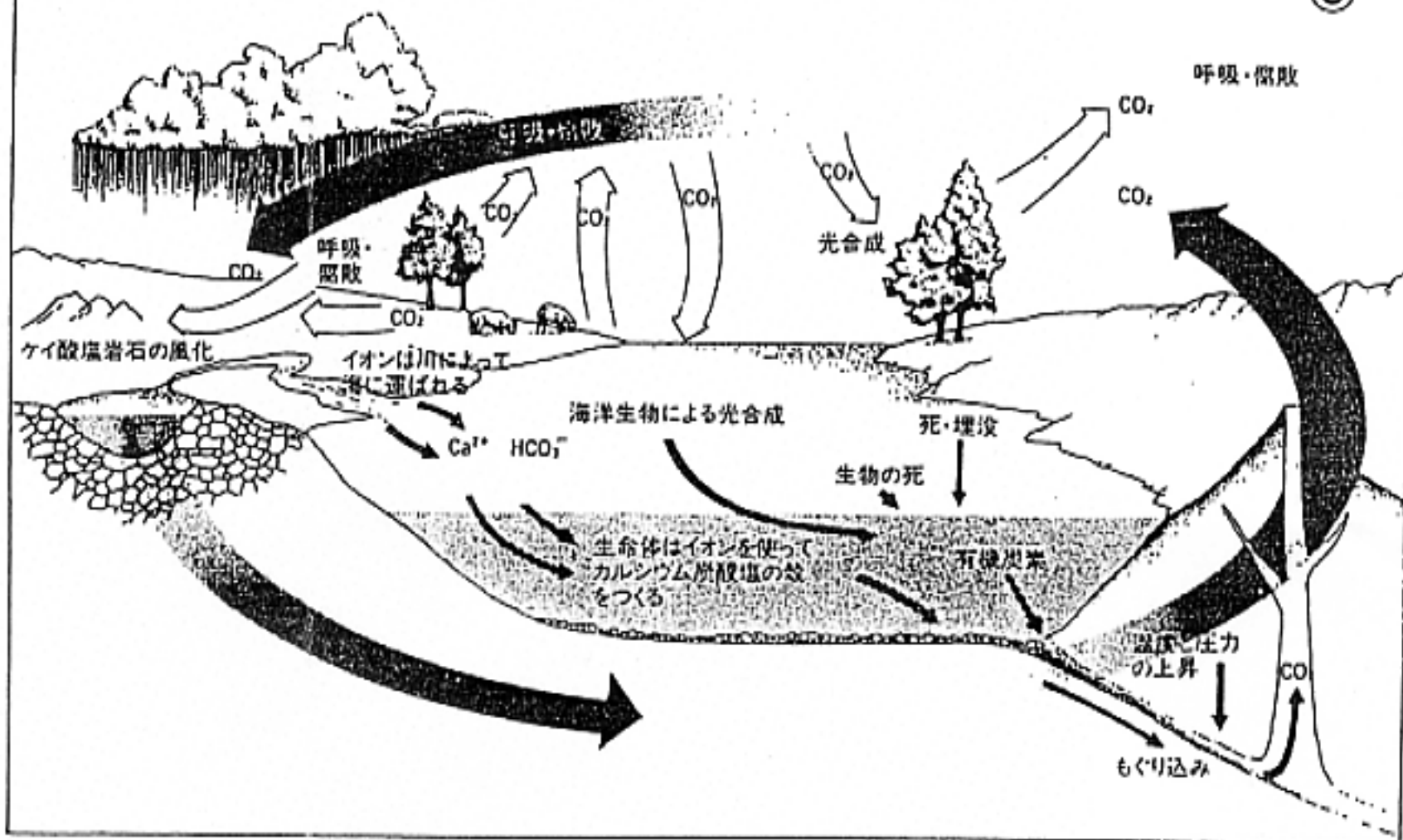


②



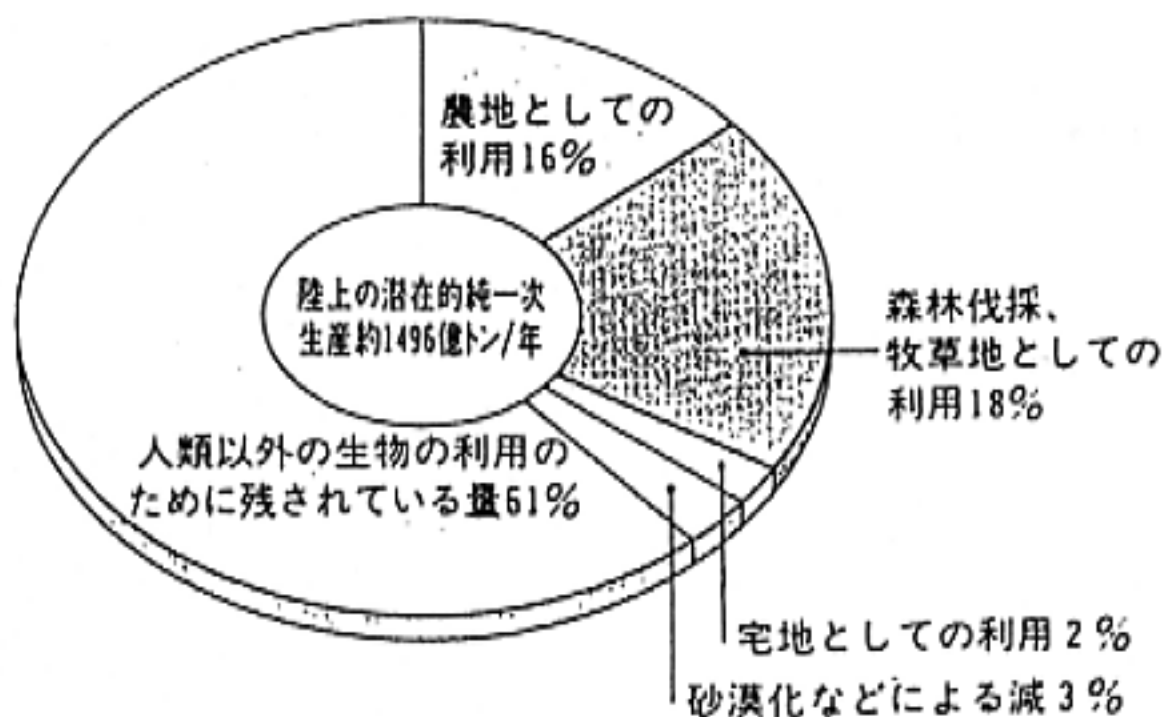


大気中の二酸化炭素除去には2つのシステムがある。1つは光合成によって二酸化炭素を有機物に変えるシステム（生命活動）であり、もう1つはケイ酸塩岩石の風化を介して炭酸カルシウムに変えるシステムである。前者の場合、一部の有機体は死ぬと埋没して有機炭素となる。有機炭素も炭酸カルシウムも地殻の運動で地下深く沈み込み、地球内部の圧力と高温によって分解され、ふたたび二酸化炭素になる。この二酸化炭素は火山噴火によって大気中に戻される。



大気中の二酸化炭素除去には2つのシステムがある。1つは光合成によって二酸化炭素を有機物に変えるシステム（生命活動）であり、もう1つはケイ酸塩岩石の風化を介して炭酸カルシウムに変えるシステムである。前者の場合、一部の有機体は死ぬと埋没して有機炭素となる。有機炭素も炭酸カルシウムも地殻の運動で地下深く沈み込み、地球内部の圧力と高温によって分解され、ふたたび二酸化炭素になる。この二酸化炭素は火山噴火によって大気中に戻される。

生物の活動に占める人類の活動の割合



(注) 純一次生産とは、太陽エネルギーを植物が固定して得た有機物量から、植物自身が消費するものを差し引いた有機物量。中央の数値は、人間の活動がなかったとした場合に得られるであろう純一次生産量を示す。人類はこれらのうちの39%を農地・牧草地への転用や農林産品などの形で利用している。

(出典) 平成4年版環境白書。原資料は国際自然保護連合「新世界環境保全戦略」



1

生態系

:

230

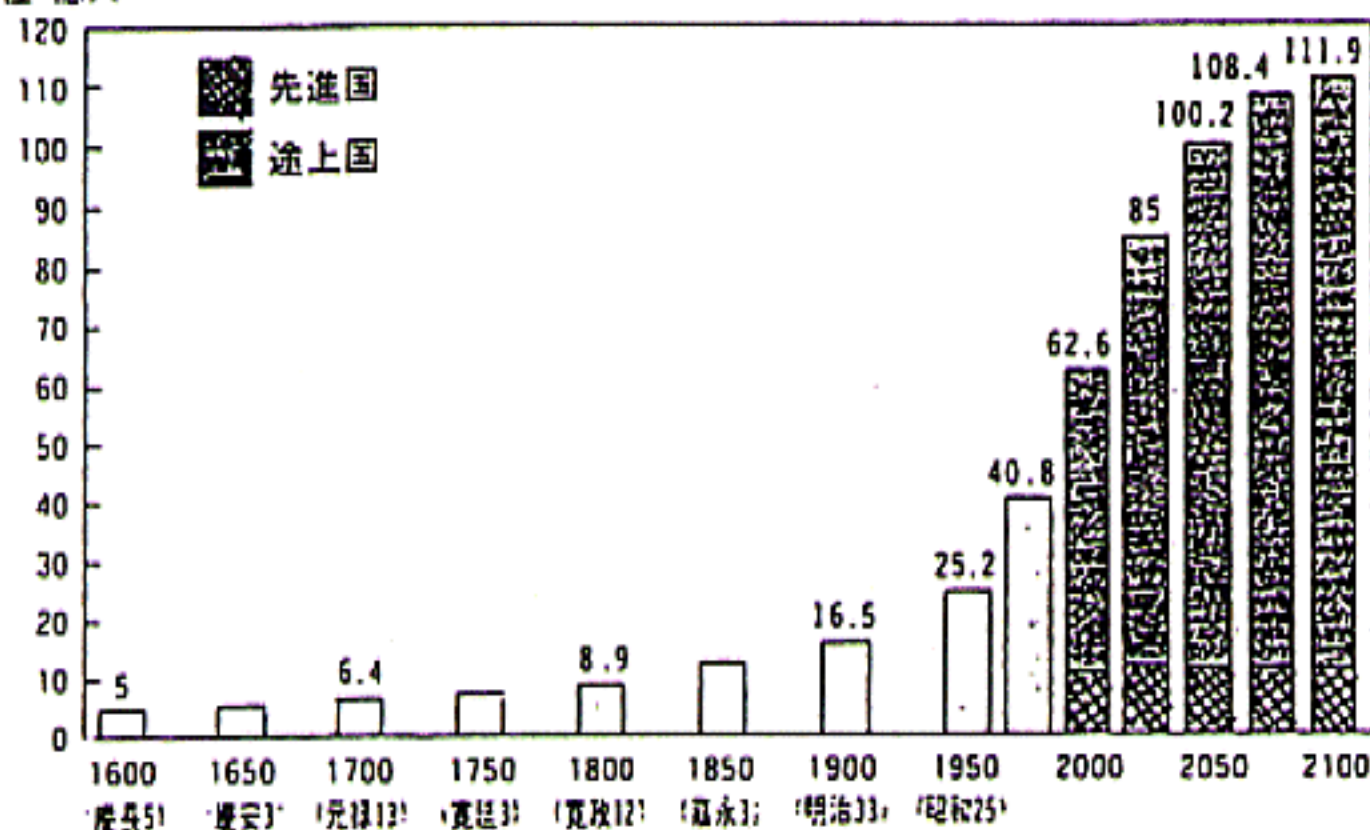
文明社会



世界人口の推移と予測

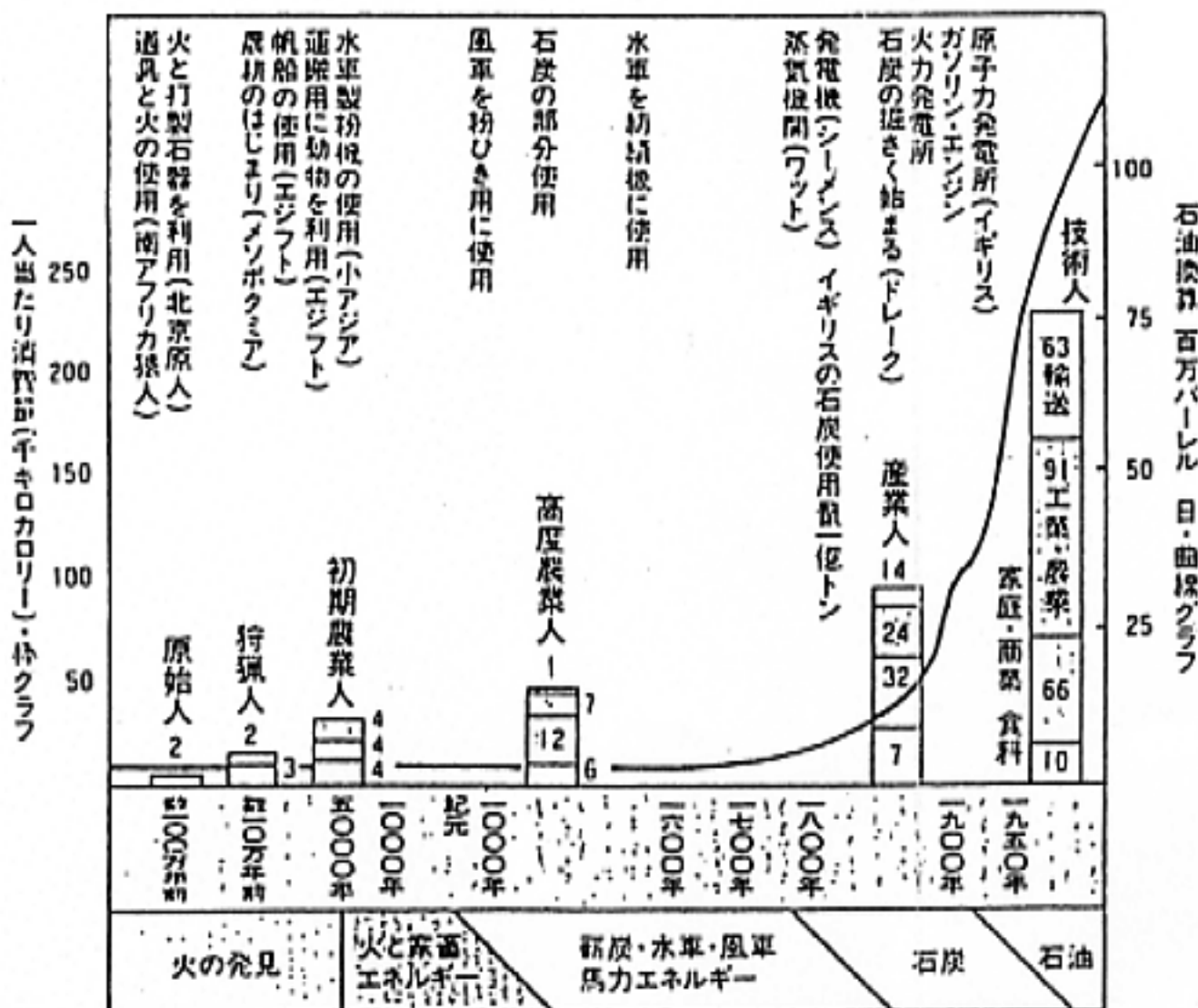
⑥

単位・億人



(注) 2000年以降の数値は中位推計。

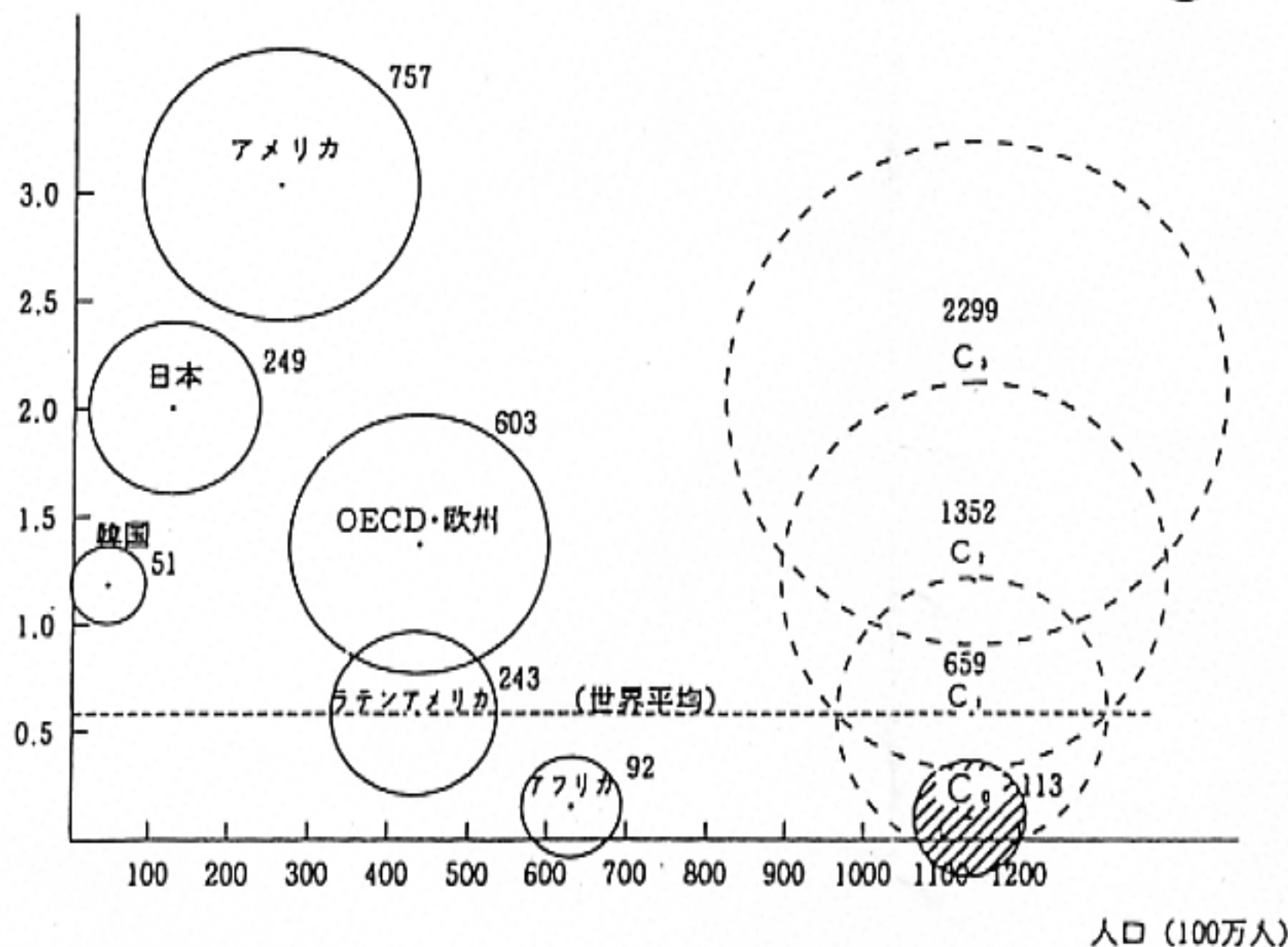
(出典) 国連「WORLD POPULATION PROJECTION (1992)」, 厚生省「人口統計資料集」等より環境庁作成



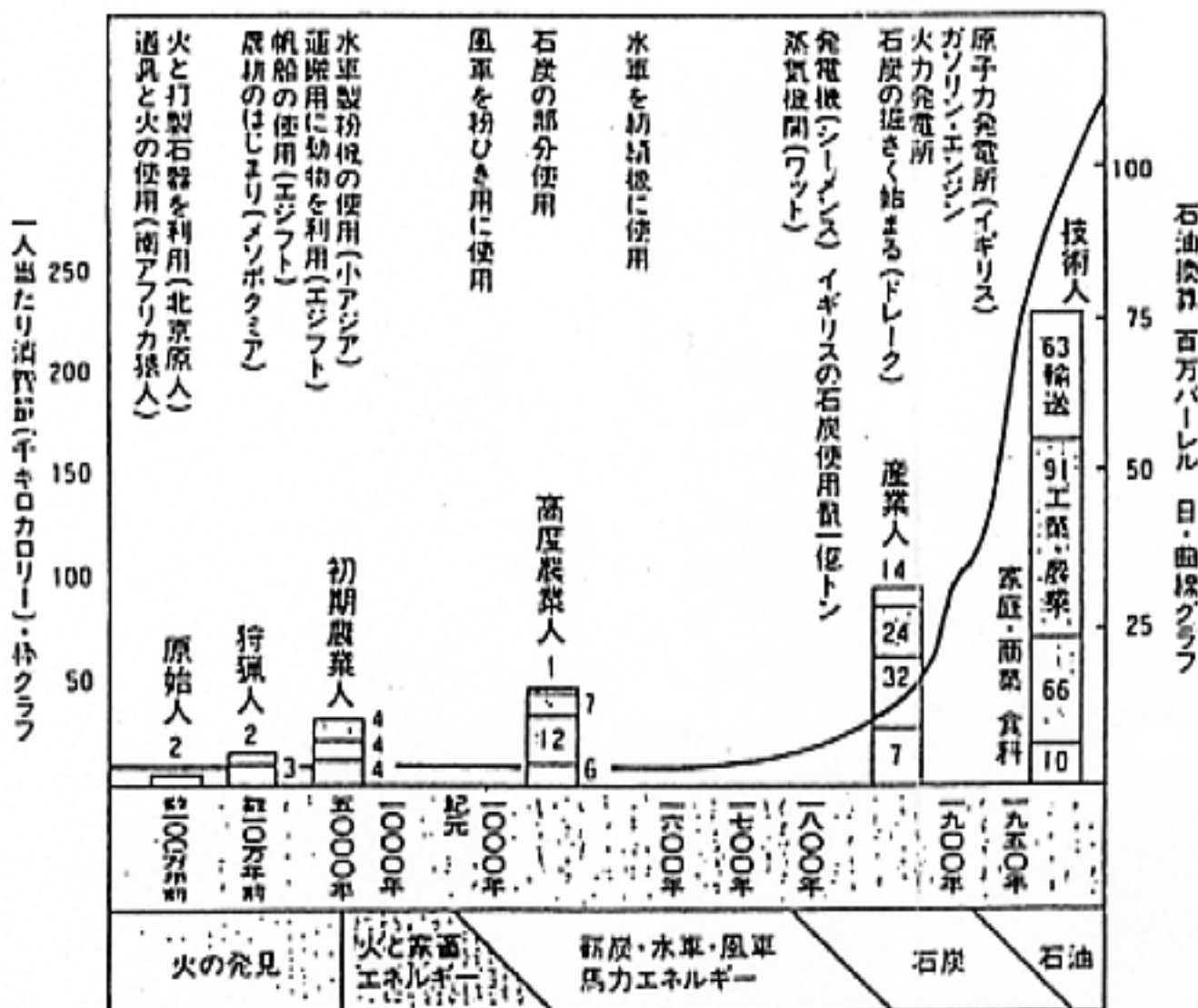
(注) 人類がエネルギーをどのように使用してきたかをモデル化して示した。100万年前の原始人(東アフリカ)は食料のみ、10万年前の狩猟人(ヨーロッパ)は暖房・狩猟用の薪、B.C.5000年の初期農耕人(メソポタミア)は穀物栽培用の家畜、1400年の高度農耕人(北西ヨーロッパ)は暖房用石炭・水力・風力と輸送用の家畜、1875年の産業人(イギリス)は蒸気機関、1970年の技術人(アメリカ)は電力を使用するとした。

(出典)総合研究開発機構「エネルギーを考える」より環境庁作成。

一人当たり年間石油消費量(トン)



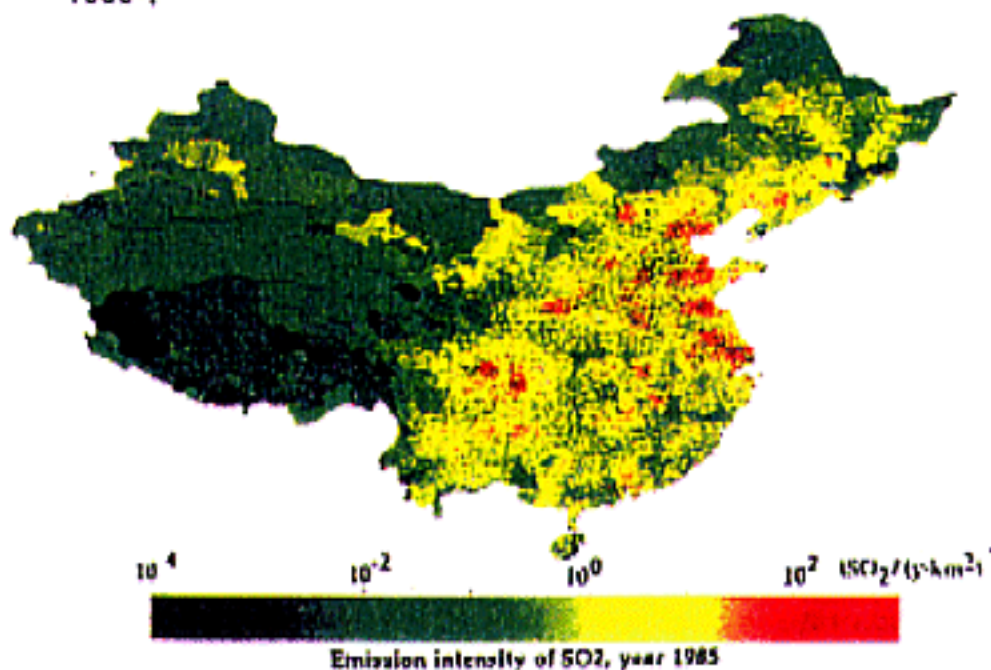
(説明) 中国は人口が大きいものの、1人当たり石油消費量が0.1トンの極めて小さいため、現在の石油消費量は113百万トンと極めて小さい(C₀)。今後、1人当たり消費量がラテンアメリカなみになるとC₁、韓国なみになるとC₂、日本なみになるとC₃になる。(なお、人口増は捨象してある)



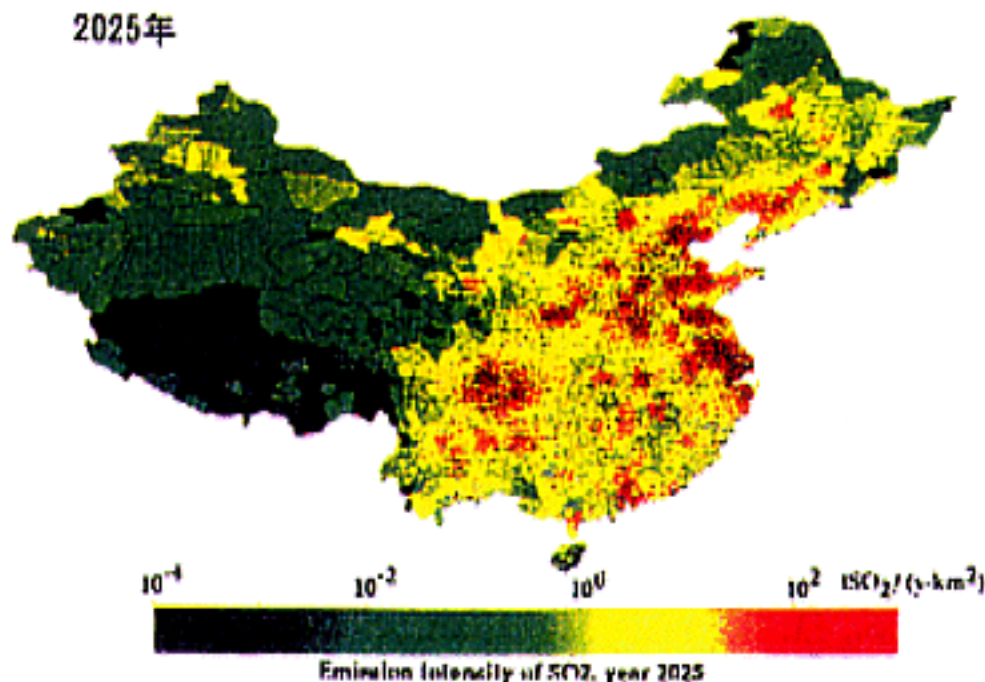
(注) 人類がエネルギーをどのように使用してきたかをモデル化して示した。100万年前の原始人(東アフリカ)は食料のみ、10万年前の狩猟人(ヨーロッパ)は暖房・狩猟用の薪、B.C.5000年の初期農耕人(メソポタミア)は穀物栽培用の家畜、1400年の高度農耕人(北西ヨーロッパ)は暖房用石炭・水力・風力と輸送用の家畜、1875年の産業人(イギリス)は蒸気機関、1970年の技術人(アメリカ)は電力を使用するとした。

(出典)総合研究開発機構「エネルギーを考える」より環境庁作成。

1985年

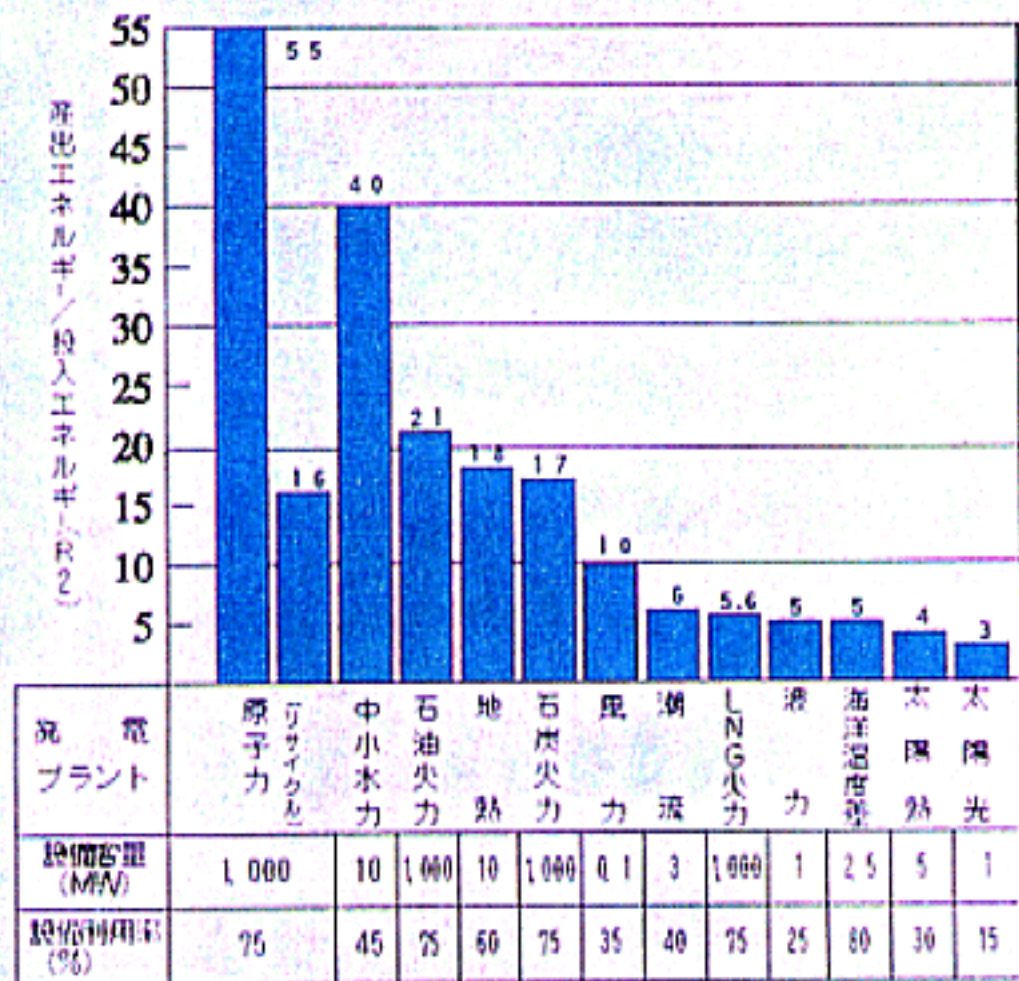


2025年



(備考) AIM(名古屋大学・松岡祖、国立環境研究所)

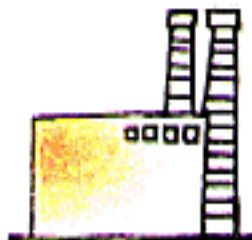
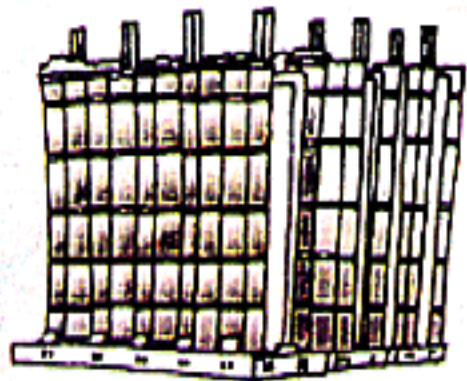
発電プラントのエネルギー収支比



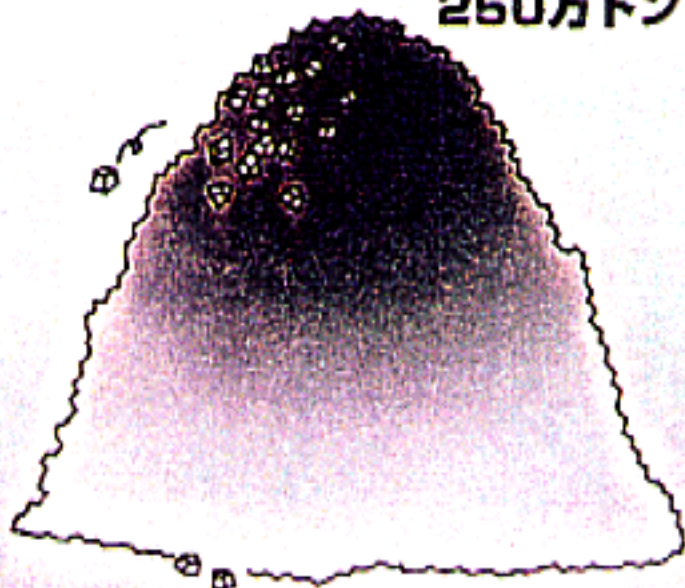
ああ寒い…
こんなに薪が
たくさんあるのに、
濡れているので
火がつかないわ。



原子燃料
25トン



石炭
250万トン



天然ウラン
150トン



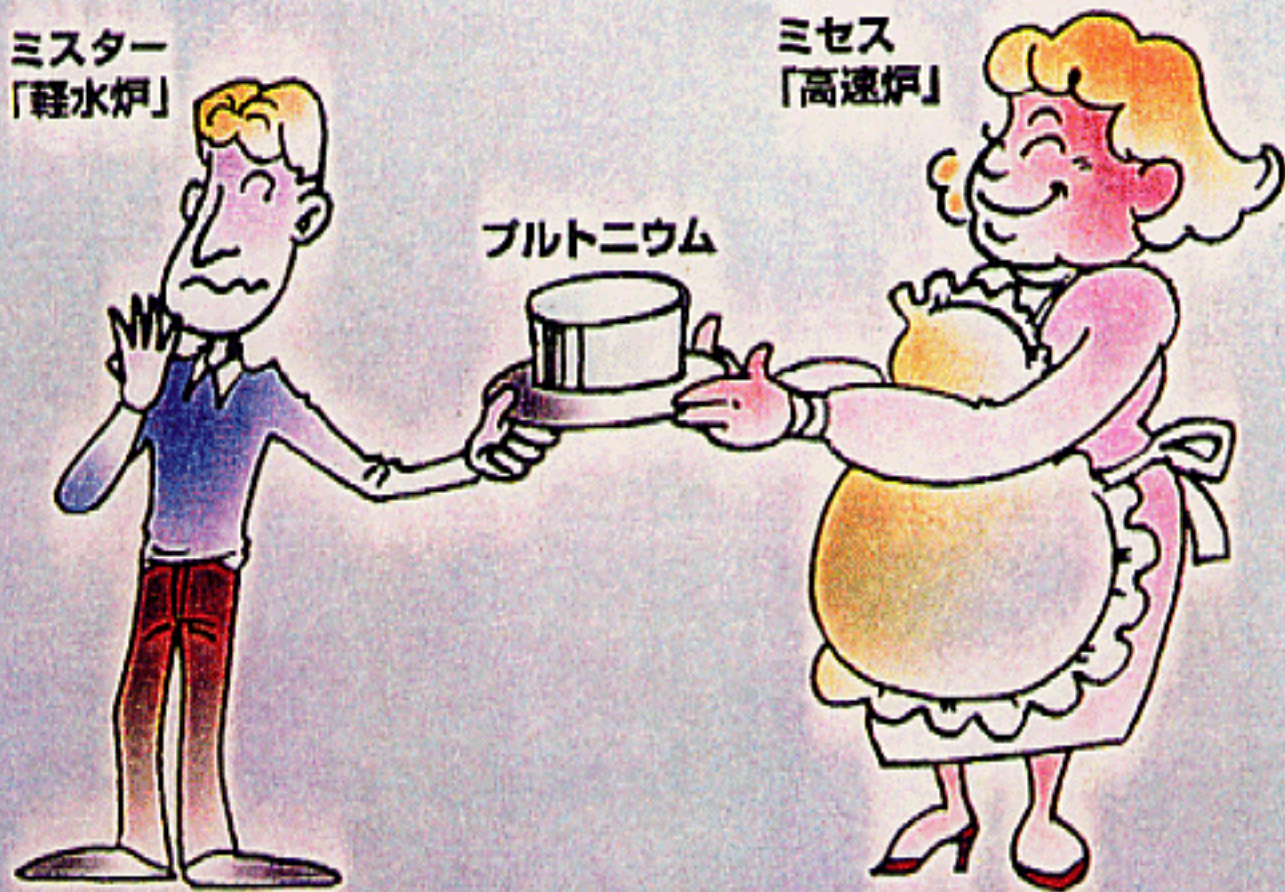
鉱石
5万トン

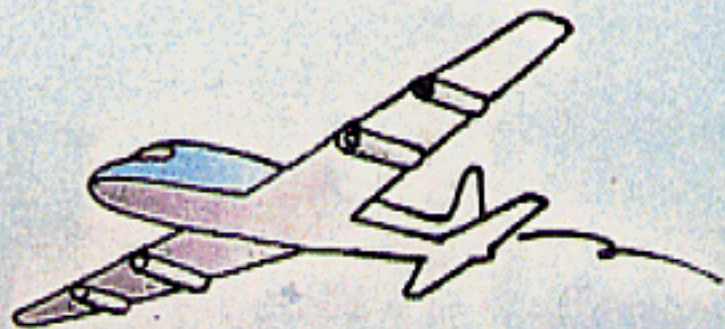


ミスター
「軽水炉」

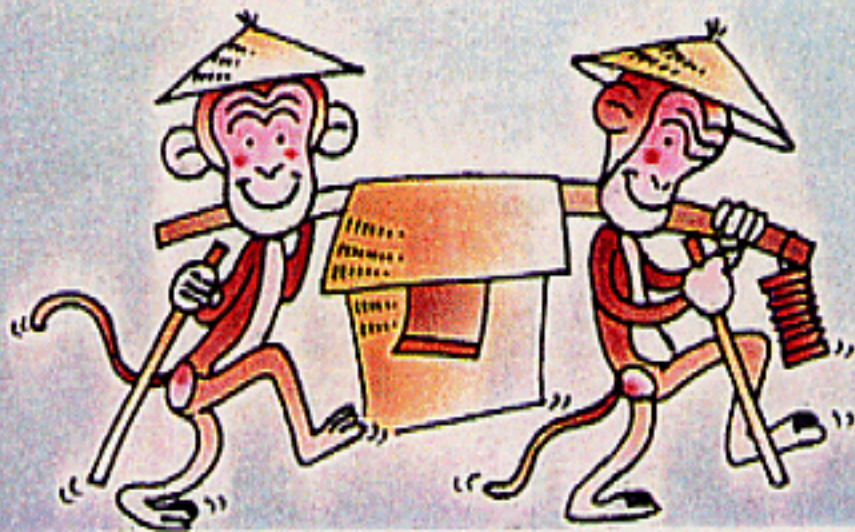
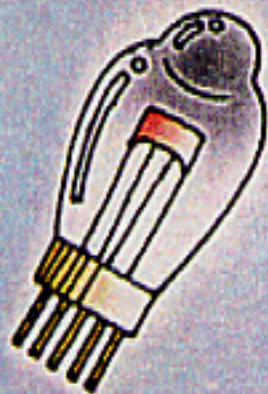
ミセス
「高速炉」

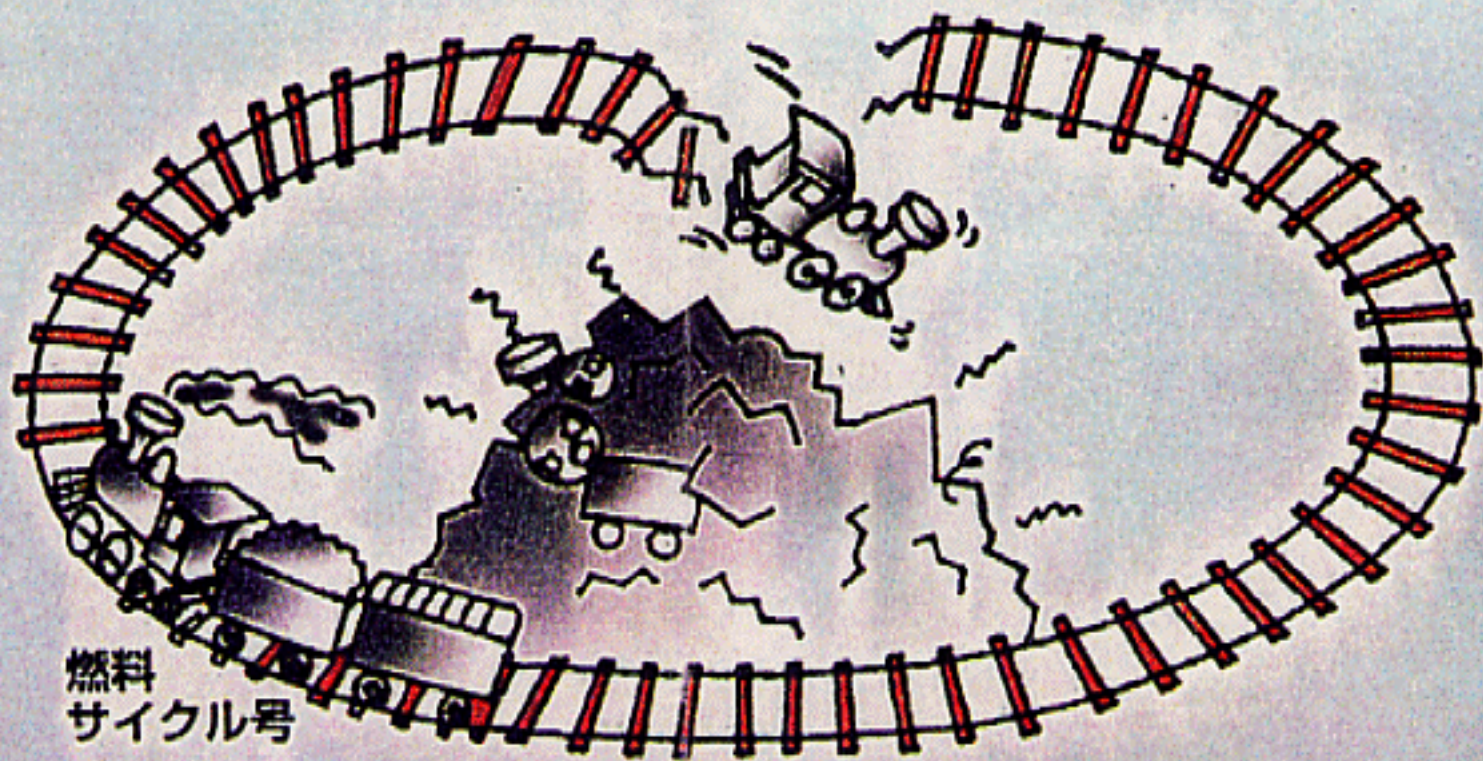
ブルトニウム





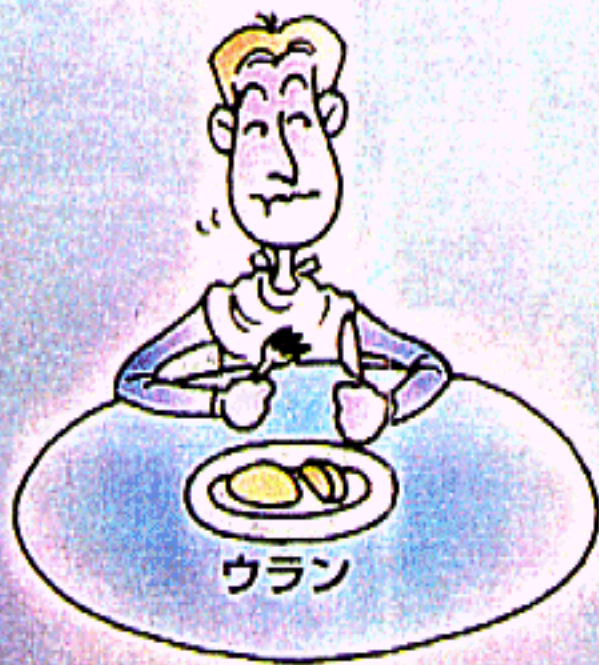
1,000,000倍



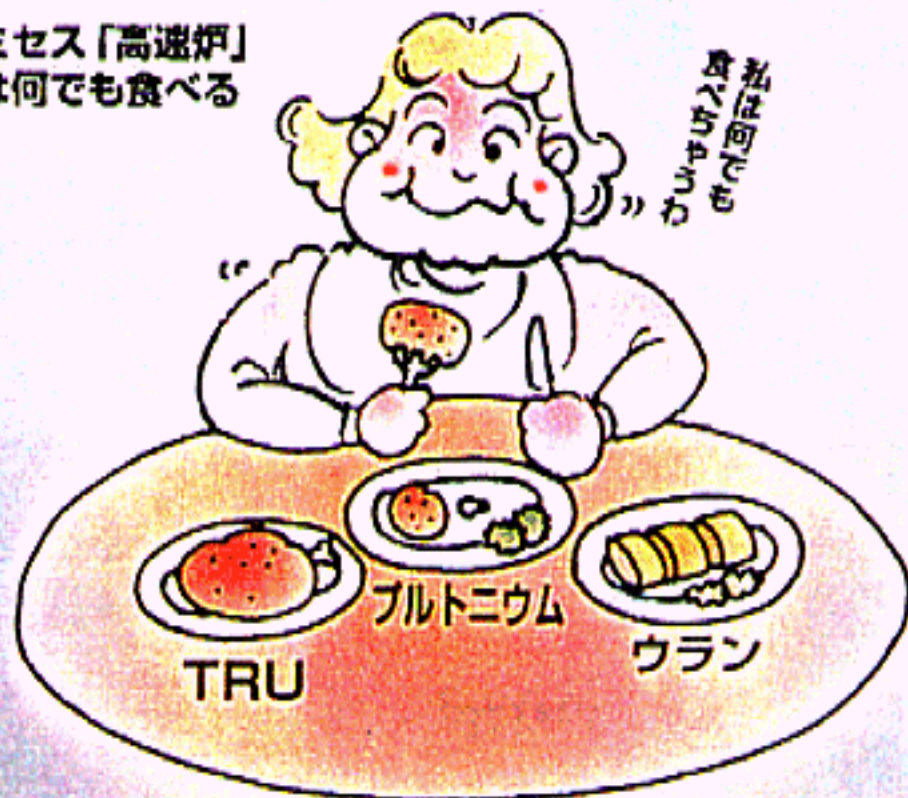


燃料
サイクル号

ミスター「軽水炉」は
好き嫌いがある



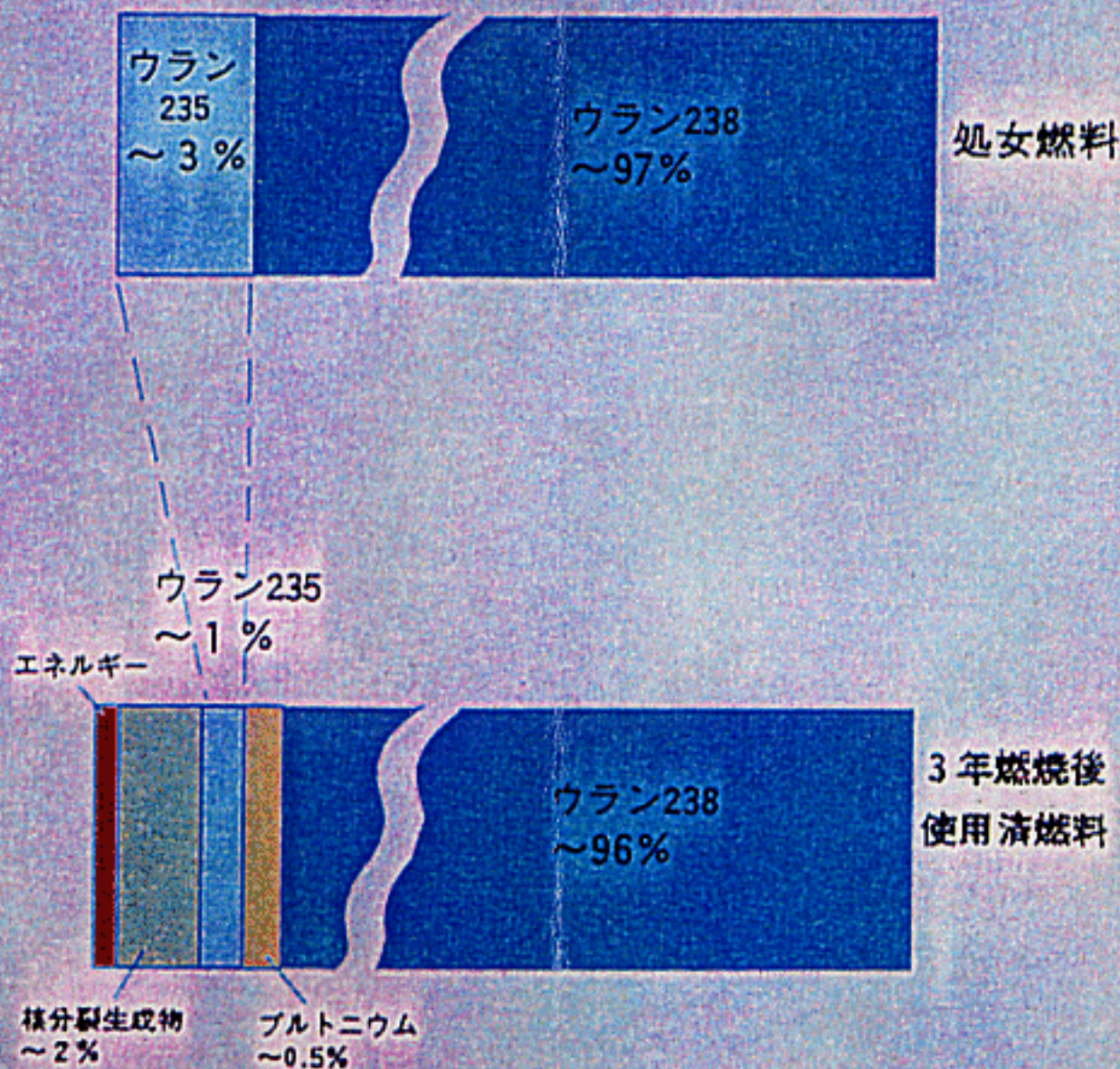
ミセス「高速炉」
は何でも食べる





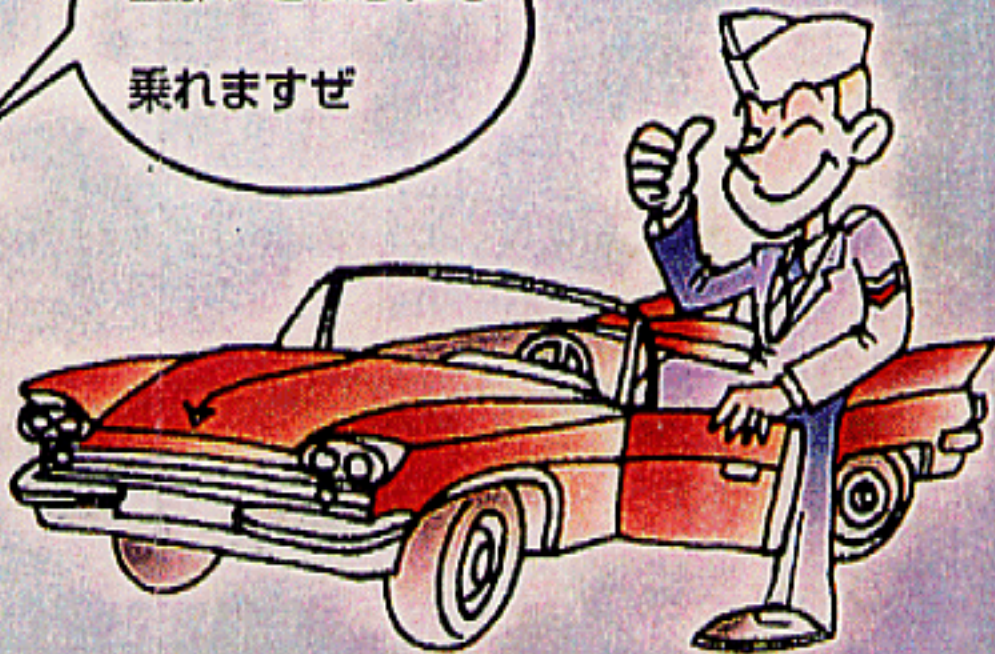
200 t

アメリカ流の高レベル廃棄物





旦那、こっちにも
乗れますぜ



原子炉級プルトニウム

〔実績〕 ゼロ

核兵器級プルトニウム

70,000発